



Рис.5. Линии $\lambda_w = const$.
Режим $n_{пр} = 1,0$.

достаточна для образования отрыва пограничного слоя, как на поверхности лопаток, так и на корпусе вентилятора.

Натурный вентилятор с рассматриваемой ступенью показал беспрецедентно низкий коэффициент чувствительности к возмущениям потока на входе

$$\alpha = \Delta K_y / W_{вх} = 0,15,$$

где $W_{вх} = (\Delta \bar{\sigma}_0 + \varepsilon)$ – уровень возмущений. Отмечена способность узла хорошо выравнивать входящие возмущения.

Комплекс доводочных работ позволил практически добиться получения основных параметров ступени. Впоследствии была изготовлена и испытана модельная ступень, идентичная натурной по геометрии рабочего колеса. Она показала параметры: $\pi^*_{ст} = 2,36$, $\eta^*_{ад ст} = 0,82$. На базе этой ступени были разработаны мероприятия по дальнейшему совершенствованию профилирования лопаток. Развитие в последние годы методов расчета с учетом вязкости газа открывает новые перспективы по проектированию высокоскоростных ступеней. Накопленный в ходе работ над ступенью вентилятора опыт представляет интерес, как для проектирования малоступенчатых компрессоров, так и для идентификации новых методик расчета.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГТД

Лиманова Н.И., Ионе С.Д.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

К информативным параметрам, позволяющим производить оценку стабильности рабочих процессов в двигателе непосредственно в процессе его эксплуатации, а также выполнять прогнозирование надежности ГТД, относятся пульсации давления, вибрации и температура нагрева элемен-

тов конструкций ГТД. Для определения пульсаций давления и параметров вибрации в труднодоступных зонах ГТД наиболее подходят рефлектометрические волоконно-оптические датчики (ВОД), так как они имеют малые габариты, массу, хорошую гибкость, обладают работоспособностью в агрессивных и взрывоопасных средах, на них не действуют электрические и магнитные помехи. Однако особенностью проведения измерений изнутри и снаружи ГТД является наличие дестабилизирующих процесс измерения факторов, например, таких как запыленность среды между торцом волоконно-оптического жгута и объектом контроля, загрязнение поверхности элемента конструкции ГТД, что приводит к изменению коэффициента отражения поверхности объекта контроля (коэффициент отражения света от контролируемой поверхности различен для разных объектов, это зависит от типа материала и чистоты обработки поверхности), а также наличие внешних засветок. В результате изменения питающих напряжений, старения и т.д. могут изменяться мощность источника излучения и чувствительность фотоприемника, что приводит к ошибке в определении параметров вибрации. Кроме того, функция преобразования ВОД существенно нелинейна, что ограничивает диапазон измерений. Длина линейного участка функции преобразования существующих рефлектометрических ВОД, имеющих погрешность измерения, обусловленную нелинейностью функции преобразования, не более 6 %, не превышает 50...100 мкм.

Для того, чтобы использовать достоинства ВОД и нейтрализовать недостатки при измерении пульсаций давления и вибраций элементов конструкций ГТД предлагается использовать многоканальные волоконно-оптические структуры [1,2,3] и специальные алгоритмы обработки сигналов с выходов измерительных каналов [4,5]. Многоканальные ВОД позволяют также реализовать контроль вида реальной функции преобразования измерительного устройства с помощью соотношения величины производной сигнала фотоприемника по измеряемому параметру, выраженной в конечных приращениях, к действительной величине сигнала с фотоприемника [2].

Так как оценивается состояние двигателя в целом, а не отдельного процесса или элемента конструкции, необходимо использование десятков многоканальных ВОД вибрации и пульсаций давления, а также датчиков температуры, которые по вышеназванным причинам также выполняются по многоканальной схеме [6]. Обработать информацию, собранную со всех измерительных каналов десятков датчиков, проанализировать ее и выдать управляющие сигналы для регулирования рабочих процессов в двигателе оказывается под силу только автоматизированной системе.

Предлагаемая для оценки стабильности рабочих процессов ГТД автоматизированная система является распределенной. Распределенная или многоточечная система подразумевает, что информационные каналы (измерение и управление) не сводятся в одно место (шкаф с рядом расположенной управляющей ЭВМ), а переводятся в цифровой код в непосредственной близости от места возникновения сигнала (измерение) или места его приема (управление) с помощью конструктивно законченного выносного модуля. Как правило, цифровой код передается по одному кабелю, который последовательно соединяет все выносные модули.

Тем самым достигается почти полное исчезновение многочисленных кабелей, свойственных другим автоматизированным системам, уменьшение наводок и помех благодаря уменьшению длины проводов с аналоговыми сигналами от датчиков и исполнительных устройств, упрощение проекта автоматизированной системы, так как нет необходимости создавать многочисленные и трудоемкие таблицы соединений, более высокая надежность автоматизированной системы, так как уменьшено количество проводов и разъемов, которые со временем окисляются и отказывают. Модернизация автоматизированной системы сводится к появлению новых модулей без изменения проекта и трассировки ранее проложенных кабелей.

Выносной модуль позволяет производить измерение сигналов с датчиков (датчики давления, вибрации, температуры, датчики положения, угла). При этом сами модули могут быть расположены на расстоянии до 100 - 200 метров от управляющего персонального компьютера. Выносные модули могут быть расположены в любом месте на шине, которая состоит из 4 проводов (2 питание, 2 информация).

Для реализации распределенной автоматизированной системы среди готовых изделий наиболее подходящими являются модули FieldPoint фирмы National Instruments. Эти модули с размерами примерно 90*80*70 мм устанавливаются на специальные терминальные панели FP-TB1, которые последовательно конструктивно собираются в линейку, через адаптер связи подключаемую к линии связи. Входы модулей рассчитаны на применение проводов от датчиков с наконечниками, что, конечно, ускоряет монтаж, но, во-первых, не дает возможности быстро производить смену датчиков и модулей без опасности перепутать провода, а во-вторых не дает долговременной надежности соединения, особенно для маломощных цепей, в условиях вибрации и грязи. Модули могут работать только в среде WINDOWS, что приводит к не очень высокому быстродействию получающихся автоматизированных систем и невозможности использования модулей в дешевых системах на PC-486 или Pentium, для которых функционирование WINDOWS с нужной скоро-

стью и надежностью невозможно. То есть для таких модулей необходима покупка мощных современных персональных компьютеров.

Информационная линия по протоколу RS-485 должна на концах иметь заглушки-резисторы номиналом 110-120 Ом, в то же время, конструктивно в модулях нет разъема, позволяющего одновременно подключить/отключить провода линии связи, провода питания и заглушку. Сами провода линии связи для разветвленной автоматизированной системы представляют из себя жгут с жестко установленными по месту отводами или отрезки проводов между модулями.

В первом варианте модули сложно установить в другое место, так как жгут уже спаян, а во втором в случае исключения модуля надо соединить провода (скрутить) и перенести заглушку в другое место. Все это приводит к малой оперативности подключения модулей, возможной ошибки в их соединении.

Принято решение отказаться от специальных плат, устанавливаемых в компьютер и все подключения производить через стандартные RS или LPT порты. Это позволяет, во-первых, быстро заменять компьютер в случае его поломки (за несколько минут), во-вторых, производить замену неквалифицированному персоналу, в-третьих, не ориентироваться на какую либо внутреннюю шину компьютера (ISA или PCI) и не бояться, что со временем нельзя будет найти компьютер с нужной внутренней шиной, что происходит сейчас с ISA-платами.

Были разработаны выносные модули с АЦП, ЦАП, частотомером и преобразователем сигналов с датчиков. Конструктивно выносные модули содержат материнскую плату, одинаковую во всех модулях и специализированную плату, которая определяет возможности модуля (ЦАП, цифровые входы и выходы, АЦП, преобразователи сигналов с датчиков и т.д.). Материнская плата содержит микроконтроллер, гальванически изолированный блок питания, работающий от входных +24 В, оптоизолированную схему связи с информационной шиной, систему аварийной защиты при сбоях (зависаниях) микроконтроллера.

Был разработан специальный протокол передачи данных, который позволяет получить гарантированный доступ к выносному модулю за время 20...40 мс, то есть создавать автоматизированные системы реального времени с частотой обновления информации 50...25 Гц. Этот протокол позволяет, во-первых, производить настройку выносного модуля до самой работы с модулем, что уменьшает объем информации, передаваемой при работе с модулем, а во-вторых, ранжировать выносные модули по частоте опроса и управления с заданием для каждого модуля необходимой частоты опроса. Кроме этого, добавление новых модулей в систему не требует изменения программного обеспечения (прошивки ПЗУ)

существующих выносных модулей, что облегчает модернизацию автоматизированной системы (создание новых каналов измерения и управления).

Было разработано универсальное программное обеспечение, которое позволяет подключать новые модули к системе, отключать модули от системы без изменения работоспособности остальных выносных модулей и автоматизированной системы, создавать новые каналы с любыми названиями, создавать функциональные связи (в виде формул) между любыми каналами, привязывать любые каналы к любым каналам выносных модулей. В отличие от широко известных программ типа LABVIEW разработанное программное обеспечение позволяет назначать гарантированные шаги во времени при обмене информацией с каждым модулем. Можно также указывать частоту и последовательность опроса каналов внутри каждого модуля или вообще отключать какие либо каналы в выносных модулях.

Возможно создание нескольких режимов опроса каналов АЦП и включения различных режимов в зависимости от состояния объекта управления (например, при разгоне чаще опрашивать датчики вибрации и температуры, а в рабочем режиме – датчики пульсаций давления).

Описанная автоматизированная система на основе волоконно-оптических датчиков позволяет контролировать стабильность рабочих процессов в труднодоступных элементах конструкций двигателей на различных этапах его эксплуатации в условиях дестабилизирующих факторов по многоточечной, многоканальной схеме, производить оценку и прогнозировать надежность двигателя непосредственно в процессе измерений. Программа обладает удобным для пользователя интерфейсом и легко модифицируется в зависимости от предъявляемых к системе требований.

Список литературы

1. Лиманова Н.И. Инвариантный к воздействию дестабилизирующих факторов волоконно-оптический датчик // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. М.: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 2000. №5. - с. 55 - 57.
2. Лиманова Н.И. Многоканальный волоконно-оптический датчик, инвариантный к воздействию дестабилизирующих факторов, для измерения вибраций элементов конструкций ГТД // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. Акад. С.П.Королева. Серия: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Сб. науч. тр. - Самара: СГАУ, 2000. Вып. 4, часть 1. - с. 142 - 146.
3. Лиманова Н.И. Оригинальный волоконно-оптический датчик для кон-

- троля вибраций конструкций ГТД // Доклады Международной научно-технической конференции, посвященной памяти Генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д.Кузнецова, 21-22 июня 2001 г. - Самара: Самар. науч. центр РАН, 2001. Ч.2. - с. 63 - 69.
4. Лиманова Н.И. Тестовый метод повышения точности измерений датчиков с нелинейными дробно-рациональными функциями преобразования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - М.: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 2000. №10. - с. 28 - 31.
 5. Лиманова Н.И. Проектирование датчиков со структурной избыточностью на основе новых информационных технологий // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. М.: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 2003. №2. - с. 39 - 42.
 6. Патент №2115896, МПК 6 G01 K 7/16. Преобразователь температуры/Н.И.Лиманова, Ю.Г. Козырев - Опубл. 20.07.98. Бюл. №20.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛА ГТУ

Иванов В.А.

ОАО "АВИАДВИГАТЕЛЬ", г. Пермь

Обозначения: k - компрессор; t - турбина; L - работа; Q - подведенная теплота; η - коэффициент полезного действия (КПД); T - температура; p - давление; θ - степень повышения температуры в цикле; π - степень сжатия (расширения); κ - показатель адиабаты; c_p - удельная теплоемкость; R - газовая постоянная; i - изотермный; a - адиабатный, окружающая атмосфера; s - сжатие; r - расширение; v - воздух; g - газ; e - эффективный; опт - оптимальный; макс - максимальный; 1-1 - простой цикл; 1 - первая (изотермная) степень сжатия и расширения; 2 - вторая (адиабатная) степень сжатия и расширения.

Оптимизация цикла, целью которой является повышение термического КПД, заключается в приближении конфигурации идеального (теоретического) цикла к форме цикла Карно (обычного или обобщенного). Повышение термического КПД приводит к повышению эффективного КПД цикла [1].

Известен способ оптимизации цикла Брайтона путем замены адиабатных процессов сжатия и расширения на изотермные. В результате получается обобщенный цикл Карно. Для достижения экономичности цикла Карно в таком обобщенном цикле при степени повышения давления меньшей бесконечности необходима регенерация теплоты отработавших газов.